

Denisyuk, S.P. (2013), "Formation of energy efficiency policy – modern challenges and European guidelines" ["Formuvannya polityky pidvyshchennya enerhetychnoyi efektyvnosti – suchasni vyklyky ta yevropeyski orientyury"], Energy: economics, technology, ecology, No. 2, pp. 7-22.

11. Коновалов В. И. Сушка с тепловыми насосами в химической промышленности: возможности и экспериментальная техника / В. И. Коновалов, Е. В. Романова, Н. Ц. Гагапова // Вестник ПГТУ. – 2011. – № 3. – С. 153–178.

Konovarov, V.I., Romanova, E.V., Gagarova N.C. (2011), "Drying with heat pumps in the chemical industry: possibilities and experimental techniques" ["Sushka s teplovymi nasosami v khimicheskoy promyshlennosti: vozmozhnosti i eksperimentalnaya tekhnika"], *Bulletin of TSTU*, No. 3, pp. 153-178.

**Пазюк Вадим Михайлович**, д-р техн. наук, доц., провідний науковий співробітник відділу тепломасопереносу в теплотехнологіях, Інститут технічної теплофізики Національної академії наук. Адреса: вул. Булаховського, 2, м. Київ, Україна, 03164. Тел.: 0962235306; e-mail: vadim\_pazuk@ukr.net.

**Paziuk Vadim**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Leading Researcher Department of Heat and Mass Transfer in Heat Technologies, Institute of Technical Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine. Address: Bulakhovsky str., 2, Kyiv, Ukraine, 03164. Tel.: 0962235306; e-mail: vadim\_pazuk@ukr.net/

DOI: 10.5281/zenodo.4369745

УДК 640.4:662.992

## **ОРГАНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ РЕКУПЕРАЦІЇ ТЕПЛОТИ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ В ЗАКЛАДАХ РЕСТОРАННОГО ГОСПОДАРСТВА**

**Д.В. Горєлков, Г.М. Постнов, І.В. Нечипоренко, Б.В. Ляшенко**

*Визначено технічні особливості організації системи теплообміну, що може використовуватися в закладах ресторанного господарства для забезпечення ефективної теплопередачі від відпрацьованого повітря до іншого теплоносія з урахуванням експлуатаційних особливостей. Наведено результати експериментальних досліджень доцільності використання ребер у конструкції рекупераційної установки та значення кута нахилу ребер у ній.*

---

© Горєлков Д.В., Постнов Г.М., Нечипоренко І.В., Ляшенко Б.В., 2020

*Використання рекуператора цієї конструкції може знизити енергетичні витрати на нагрівання води в гарячому цеху підприємства на 30–35% залежно від інтенсивності експлуатації та теплового навантаження на систему вентиляції.*

*Застосування інноваційних енерго- та ресурсозберезних технологій підвищує конкурентоспроможність, інвестиційну привабливість, імідж закладу, якість надаваних послуг, що гарантує привертання уваги засобів масової інформації та потенційних клієнтів.*

**Ключові слова:** *заклад ресторанного господарства, рекуперація, теплообмін, ребро, кут нахилу, швидкість течії.*

## **ORGANIZATION OF A HEAT RECOVERY SYSTEM FOR USE IN RESTAURANT ESTABLISHMENTS**

**D. Horielkov, G. Postnov, I. Nechyporenko, B. Liashenko**

*The technical features of organization of the heat exchange system, which can be used in restaurant establishments to ensure an efficient heat transfer process from the exhaust air to another heat carrier, taking into account the operational features, are proposed.*

*An experimental model of a fin-tube recuperator is presented, the design of which is easy to manufacture and install. This construction, in terms of its geometric dimensions and the location of the ribs, allows it to be mounted in the ventilation ducts of any standard ventilation system, eliminates the complexity of sanitary processing due to sufficient for effective mechanical and chemical cleaning of the interfin space.*

*The results of experimental studies of the feasibility of using ribs in the design of a recuperation unit and the value of the angle of inclination of the ribs in it are presented.*

*The most influential indicators on the heat recovery process in a tubular-fin recuperator will be the temperature of the outgoing air, the velocity and temperature of the liquid, and the angle of inclination of the fins. The presented construction can provide savings in a manufacturing environment. Considering that, according to the calculated data, the pipe network of the fin-tube recuperator contains 64 liters of liquid, it can be used for technological and technical purposes. Note that the first 64 liters will have a temperature of 40...44 °C, and further temperatures are lower by 10...15 °C. An increase in the speed of movement cannot be called a negative phenomenon, since manufacturing conditions will require certain volumes of liquid. But the installation of such a recuperator in combination with a water heater, even at a minimum temperature of heating the liquid at the outlet of 22...23 °C, will to a certain extent reduce the energy costs for heating water. Thus, the use of this design of the recuperator can reduce the energy costs for heating water in the hot shop of the enterprise by 30–35%, depending on the intensity of its operation and the heat load on the ventilation system.*

*The use of innovative energy and resource-saving technologies increases the competitiveness, investment attractiveness and image of the institution, the quality of services provided, in accordance with guarantees to attract the attention of the media and potential customers.*

**Keywords:** *establishment of a restaurant industry, recuperation, heat exchange, rib, angle of inclination, flow speed.*

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Заощадження енергоресурсів є актуальним завданням із давніх-давен, незалежно від країни, часу, економічних обставин [1]. Одним зі способів енергозбереження в закладах готельно-ресторанного господарства є переоснащення їх енергозбережним обладнанням, зокрема встановлення діодних світильників замість ламп розжарювання чи люмінесцентних ламп, використання електродних нагрівачів замість ТЕНів, застосування індукційних нагрівачів замість спіралей, використання датчиків руху у приміщеннях, що не потребують повсякчасного освітлення, використання вітряків та сонячних батарей та багато інших сучасних технічних рішень. Ще одним показником якості відтвореного джерела енергії є таке явище, як рекуперативний теплообмін. Зазвичай рекуперативний теплообмін може використовувати підприємство, що будується заново, має достатню прилеглу територію для укладання рекуперативних теплообмінників у землю та може використовувати тепло шарів ґрунту для підігрівання теплоносія в зимовий період чи для охолодження приміщень улітку за рахунок використання зворотного ефекту. Але частина таких підприємств незначна, отже, використання цих конструкцій повсюдно не є можливим. Таким чином, питання енергозбереження для більшості підприємств залишається відкритим.

Одним з ефективних способів використання вентиляції як джерела енергозбереження є встановлення рекуперативних теплообмінників у цій системі. Установлення їх на сучасних підприємствах є реальним явищем, але зовсім не повсюдним. Установлення рекуперативного теплообмінника в системі вентиляції є не обов'язковим і здійснюється зазвичай за бажанням власника, на відміну від, скажімо, Фінляндії, де на законодавчому рівні закріплено використання рекуперативних теплообмінників у закладах ресторанного господарства з об'ємом витяжної системи більше ніж 3600 м<sup>3</sup>/год (1 м<sup>3</sup>/с). Тобто заклад ресторанного господарства не отримає дозволу для введення в експлуатацію без застосування таких теплообмінників. Обмеженість застосування таких конструкцій у ресторанному господарстві України зумовлена небажанням власників мати додаткові стартові капітальні витрати на виробництво, а згодом

це питання частіше за все ігнорується, проте підвищені витрати на електроенергію вносять свої коригування.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Пріоритетним напрямом ефективного застосування рекуперації є диференціація підходів до вибору рекуператора та підбору типу рекуператора відповідно до виробничих умов. У виробничих умовах розглянуто можливість застосування низки типів і конструкцій рекуператорів [2–4]: пластинчасті, роторні, із проміжним теплоносієм, камерні рекуператори, теплові труби тощо.

Наведений перелік конструкцій рекуператорів є неповним, тому застосування тих чи інших конструкцій є питанням виробничої, технічної та економічної доцільності. Проте, з огляду на поставлене завдання стосовно енергозбереження в закладах ресторанного господарства представлені схеми рекуператорів можуть бути використані у відносно обмеженому діапазоні. Ураховуючи те, що найбільше теплових викидів у систему вентиляції відбувається з гарячого цеху, доцільним є використання рекуператорів у цій зоні. Але зважаючи на те, що саме в гарячому цеху разом із тепловим потоком, температура якого сягає 65...80 °С, виходить і сукупність жирів, використання, зокрема, пластинчастих теплообмінників є недоцільним навіть за умови встановлення уловлювачів жирів та фільтрів. Частина запахів, як показала практика, залишається в повітрі. Крім того, під час застосування уловлювачів та фільтрів у системі витяжної вентиляції відбуваються тепловтрати каналами вентиляції та пристроями з тепловіддачею в середину гарячого цеху. Щоб запобігти цьому застосовують теплоізоляційні матеріали з різними характеристиками. З огляду на функціонування гарячого цеху будь-якого підприємства уникнути викидів жирів у вентиляцію неможливо, тому використовувати систему рекуперації для підігрівання саме проточного повітря достатньо складно. Зумовлено це тим, що під час використання існуючих теплообмінників складно мити поверхні, на яких утворюється жировий наліт, який окрім погіршення санітарного стану та запаху призводить до зменшення теплопередачі в середньому на 35–40%. Отже, актуальним стає завдання розробки системи рекуперації тепла вентиляційних викидів у гарячому цеху з новою системою теплообміну, яка б забезпечувала ефективну теплопередачу від відпрацьованого повітря до іншого теплоносія, за умов максимальної легкості та зручності очищення та обслуговування.

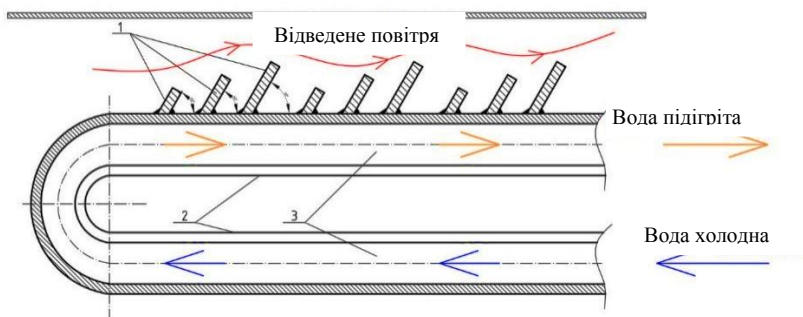
**Мета статті** – розробка системи теплообміну, що може використовуватися в закладах ресторанного господарства для

забезпечення ефективної теплопередачі від відпрацьованого повітря до іншого теплоносія з урахуванням експлуатаційних особливостей.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** З огляду на поставлені завдання були проведені дослідно-конструкторські роботи з розробки зазначених теплообмінників. По-перше, було прийняте рішення щодо зміни призначення рекуперативного тепла з підігрівання припливного повітря на підігрівання води, що використовується для виробничих цілей гарячого цеху або мийної кухонного посуду закладу ресторанного господарства, яка зазвичай знаходиться поруч із гарячим цехом.

Для підігрівання води до входу її до водонагрівачів пропонуємо застосувати розроблену конструкцію трубчасто-реберного теплообмінника (рис. 1). Як теплообмінник у цій конструкції використовується суцільна труба (рис. 1, поз. 2), зігнута під певним радіусом у багатоярусну систему. Для збільшення тепловіддачі тільки на зовнішній частині трубчастого блока зроблено ребра у вигляді похилих зубців, приварених до поверхні труби на певній відстані один від одного. Ураховано той факт, що ребра не повинні суттєво уповільнювати повітряний потік та створювати додатковий опір, що призведе до навантаження двигуна вентилятора або навіть його заміни на більш потужний. Для забезпечення ефективного додаткового тепловідведення ребра були приварені під збільшеним кутом до потоку повітря, що дозволило спрямувати тепловий потік догори від трубки. Ребра зроблені трьох типорозмірів: 25, 45, 65 мм один за одним із кроком 40 мм. Крок між ребрами обрано з міркувань зручності санітарної обробки для вимивання пилу, жиру та ін. Покрокове збільшення висоти ребер не уповільнює теплового потоку, а лише змінює тепловий напрямок і частину цього потоку спрямовує у міжреберний простір, де відбувається завихрення потоку та інтенсифікується тепловіддача. Під час експерименту спостерігалось інтенсивне перемішування теплового потоку в міжреберному просторі, а потік повітря, що проходив вище ребер, притискав завихрення до міжреберного простору і частково підхоплював, видаляючи відпрацьоване повітря. Слід відзначити, що ребра до поверхні труби приварювалися з міркувань максимальної тепловіддачі, довговічності експлуатації, забезпечення зручності та якості санітарної обробки. Матеріалами для експериментальних теплообмінників обрано іржавостійку сталь і алюмінієвий сплав. У результаті експерименту алюмінієвий сплав, як і передбачалося, показав більш інтенсивний теплообмін (на 35–42%). Але слід відзначити, що вартість експериментального зразка з іржавостійкої сталі є дешевшою для

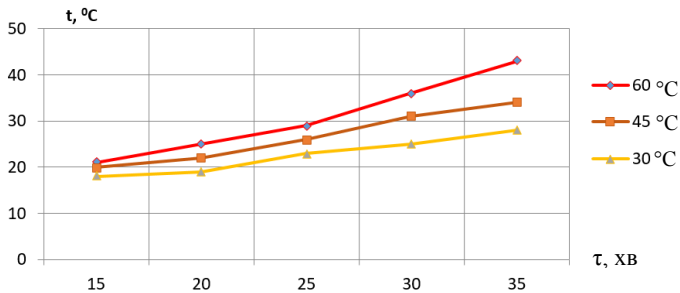
виготовлення порівняно з алюмінієвим. Маса конструкції з алюмінію порівняно зі сталеву у 2,5 рази менша, тому алюмінієва конструкція є більш привабливою для використання з точки зору рекуперації тепла та зручності монтажу. Легка конструкція не потребує встановлення додаткового кріплення корпусу повітропроводу. Тому подальші дослідження проводилися саме з конструкцією з алюмінієвого сплаву.



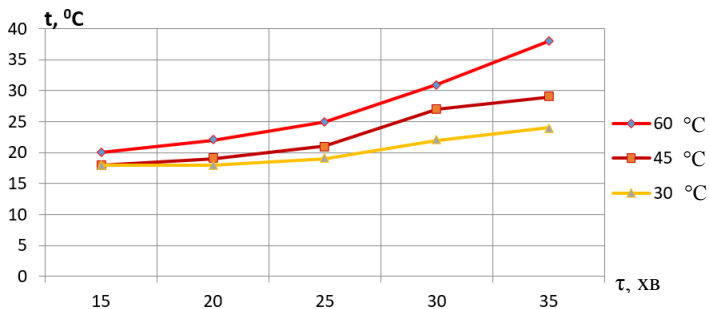
**Рис. 1. Принципова схема роботи трубчато-реберного рекуперативного теплообмінника: 1 – похилі ребра; 2 – трубчаста частина; 3 – трубний простір для проточного рідинного теплоносія**

Першочерговим завданням під час проведення експериментальних досліджень було отримання даних щодо доцільності використання в конструкції рекуперативного теплообмінника ребер взагалі та кута нахилу ребер зокрема.

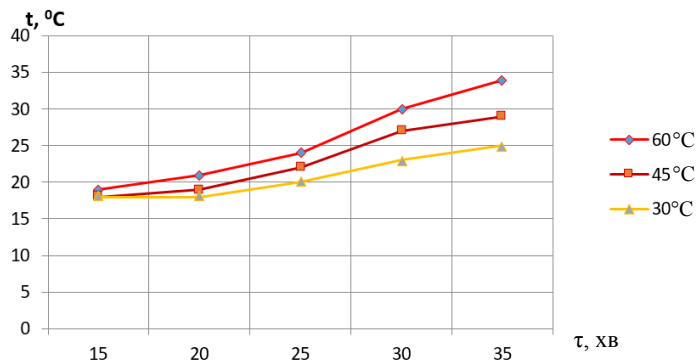
Була проведена серія експериментів для кутів нахилу ребер 30, 45, 60°, зроблених на трубчастому U-подібному теплообміннику довжиною 1 м, яка відповідала довжині проєктованого рекуператора (рис. 2–4). Температура води, що подавалась до рекуператора, відповідала температурі водопровідної води, становила 14...17 °С. Швидкість руху рідини становила 0,7–1,1 м/с. Перша серія експериментів проводилася за мінімального руху рідини – 0,7 м/с. Параметри температури фіксувалися після 15-хвилинного проміжку часу, який було надано для розігрівання конструкції та виходу її на стаціонарний режим.



**Рис. 2.** Залежність температури теплоносія  $t$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) у трубчато-реберному теплообміннику від тривалості нагрівання  $\tau$  (хв) та кута нахилу ребер  $\alpha$  (град) за початкової температури рідини  $17^{\circ}\text{C}$  і швидкості руху  $0,7$  м/с



**Рис. 3.** Залежність температури теплоносія  $t$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) у трубчато-реберному теплообміннику від тривалості нагрівання  $\tau$  (хв) та кута нахилу ребер  $\alpha$  (град) за початкової температури рідини  $17^{\circ}\text{C}$  і швидкості руху  $0,9$  м/с



**Рис. 4.** Залежність температури теплоносія  $t$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) у трубчато-реберному теплообміннику від тривалості нагрівання  $\tau$  (хв) та кута нахилу ребер  $\alpha$  (град) за початкової температури рідини  $17^{\circ}\text{C}$  і швидкості руху  $1,1$  м/с

Результати експерименту показали (рис. 2–4), що використання ребер має позитивний ефект для додаткового нагрівання теплообмінника. Так, за швидкості руху теплоносія 0,7 м/с відбувається поступове нагрівання безпосередньо теплообмінника. Проміжок часу, за який весь теплообмінник виходить на сталий режим роботи, становить 20 хв. Подальші виміри показали, що за цієї швидкості максимальна температура рідини сягає 43...44 °С, стає сталою і з плином часу не змінюється. Якщо проаналізувати кут нахилу ребер, то можемо побачити, що він значною мірою впливає на інтенсивність рекуперації: за сталого часу нагрівання при куті нахилу 30° температура рідини на виході становила 26–27 °С, а зі збільшенням кута нахилу ребра до 60° температури збільшилася до 43...44 °С. Отже, різниця температур рідини становила 17...18 °С. Цей показник свідчить про те, що поверхня з ребрами дозволяє підвищити температуру за кута нахилу 60° відносно до початкової на 30–33%. Результати подальшої серії експериментів (рис. 3, 4), які передбачали збільшення швидкості рідини до 0,9–1,1 м/с з метою визначення можливості збільшення продуктивності рекуператора показали, що відбувається зниження температури вихідної рідини на 12...15 °С за умови, що температура рідини буде сталою і не нижче 17 °С. Подальше зниження температури вхідної рідини призведе до подальшого зниження температури вихідної рідини. Слід відзначити, що незалежно від температури вхідної рідини та швидкості її руху, розбіжність у використанні кутів нахилу ребер була однаковою і становила 15...17 °С. Отже, за результатами дослідження можна зробити висновок, що найбільший вплив на рекуперацію тепла у трубчасто-реберному рекуператорі мають температура вихідного повітря, швидкість та температура рідини, кут нахилу ребер. Щодо практичних рекомендацій для використання у виробничих умовах, можна зазначити, що розроблена конструкція може забезпечити економію у виробничих умовах. Оскільки за розрахунковими даними в мережі трубопроводів трубчасто-реберного рекуператора міститься 64 л рідини, вона може бути використана для технологічних та технічних потреб. Зауважимо, що перші 64 л будуть мати температуру 40...44 °С, а наступні – температуру, нижчу на 10...15 °С. Не можна назвати негативним явищем збільшення швидкості руху, оскільки виробничі умови вимагатимуть певних об'ємів рідини. Але встановлення такого рекуператора разом з водонагрівачем навіть за мінімальної температури нагрівання рідини на виході (22...23 °С) певною мірою дозволить зменшити енергетичні витрати на нагрівання води.



**Висновки.** Розроблена експериментальна модель трубчато-реберного рекуператора являє собою просту у виготовленні та монтажі конструкцію. Ця конструкція завдяки своїм геометричним розмірам та розташуванню ребер дозволяє монтувати її у вентиляційні канали будь-якої стандартної системи вентиляції, є легкою для санітарно-технічної обробки за рахунок достатнього для ефективного механічного та хімічного очищення міжреберного простору. Використання такого рекуператора, за попередніми розрахунками, дозволить знизити енергетичні витрати на нагрівання води в гарячому цеху підприємства на 30–35% залежно від інтенсивності експлуатації та теплового навантаження на систему вентиляції.

#### Список джерел інформації / References

1. Кудря С. О. Стан та перспективи розвитку відновлюваної енергетики в Україні / С. О. Кудря // Вісник НАН України. – 2015. – № 12. – С. 19–26.

Kudria, S. (2015), “Status and prospects of renewable energy development in Ukraine” [“Stan ta perspektyvy rozvytku vidnovliuvanoi enerhetyky v Ukraini”], *Visnyk NAN Ukrainy*, No. 12, pp. 19-26.

2. Тебенков Б. П. Рекуператоры для промышленных печей / Б. П. Тебенков. – М. : Metallurgija, 1975. – 296 с.

Teben'kov, B. P. (1975), *Recuperators for industrial furnaces [Rekuperatory dlja promyshlennyh pechej]*, Metallurgija, Moscow, 296 p.

3. Адаменко А. И. Замкнутая система вентиляции и нетрадиционные источники энергии / А. И. Адаменко, И. М. Голодный, Л. И. Сокольников // Сельскохозяйственная теплоэнергетика. – М., 1992. – С. 36–37.

Adamenko, A., Golodnyj, I., Sokolnikov, L. (1992), “Closed-loop ventilation system and non-conventional energy sources” [“Zamknutaja sistema ventiljacii i netradicionnye istochniki jenerгии”], *Seskochozjajstvennaja teploenergetika*, Moscow, pp. 36-37.

4. Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика / В.А. Ананьев и др. – М. : Евроклимат, 2001. – 406 с.

Anan'ev, V. et al. (2001), *Ventilation and air conditioning systems. Theory and practice [Sistemy ventiljacii i kondicionirovanija. Teorija i praktika]*, Evroklimat, Moscow, 406 p.

**Горелков Дмитро Вікторович**, канд. техн. наук, доц., кафедра процесів та устаткування харчової і готельно-ресторанної індустрії ім. М.І. Беляєва, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. Тел.: (057)349-45-56; e-mail: oborud.hduht@gmail.com.

**Horielkov Dmytro**, PhD in Technical Sciences, Assoc. Professor, Department of Processes and Equipment for Food, Hotel and Restaurant Industry named after M.I. Belyaev, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. Tel.: (057)349-45-56; e-mail: oborud.hduht@gmail.com.

**Постнов Геннадій Михайлович**, канд. техн. наук, проф., кафедра технологій переробних і харчових виробництв, Навчально-науковий інститут переробних і харчових виробництв, Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенка. Адреса: вул. Алчевських, 44, м. Харків, Україна, 61002. Тел.: (057)700-38-88; e-mail: postnov.gennadii@gmail.com.

**Postnov Gennady**, PhD in Technical Sciences, Professor, Department of Technologies of Processing and Food Production, Educational and Scientific Institute of Processing and Food Production, Kharkiv National Technical University of Agriculture named after Petr Vasilenko. Address: Alchevskikh st., 44, Kharkiv, Ukraine, 61002. Tel.: (057)700-38-88; e-mail: postnov.gennadii@gmail.com.

**Нечипоренко Ірина Володимирівна**, канд. техн. наук, доц., кафедра процесів та устаткування харчової і готельно-ресторанної індустрії ім. М.І. Беляєва, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. Тел.: (057)349-45-56; e-mail: oborud.hduht@gmail.com.

**Nechyporenko Iryna**, PhD in Technical Sciences, Assoc. Professor, Department of Processes and Equipment for Food, Hotel and Restaurant Industry named after M.I. Belyaev, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. Tel.: (057)349-45-56; e-mail: oborud.hduht@gmail.com.

**Ляшенко Богдан Віталійович**, канд. техн. наук, доц., кафедра процесів та устаткування харчової і готельно-ресторанної індустрії ім. М.І. Беляєва, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. Тел.: (057)349-45-56; e-mail: oborud.hduht@gmail.com.

**Liashenko Bohdan**, PhD in Technical Sciences, Assoc. Professor, Department of Processes and Equipment for Food, Hotel and Restaurant Industry named after M.I. Belyaev, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. Tel.: (057)349-45-56; e-mail: oborud.hduht@gmail.com.

DOI: 10.5281/zenodo.4369869